

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Reverse Engineering

Reverse Engineering

Student:

Filip Richter

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lenka Čepová, Ph.D.

Ostrava 2010

Zadání bakalářské práce

Student: **Filip Richter**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Specializace: 70 Strojírenská technologie
Téma: Reverse Engineering
Reverse Engineering

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Přehled současného stavu RE.
3. Základní charakteristika RE.
4. Experimentální část.
5. Vyhodnocení výsledků měření.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


HRIVNÁK, R. *Reverse Engineering – metody a možnosti využitia*. Žilinská univerzita v Žiline – Strojnícka fakulta: Dizertačná práca, 2008.
KAŠPAR, M., POSPOŠIL, J., ŠTRONER, M., KŘEMEN, T., TEJKAL, M. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví*. Hradec Králové: Vega s. r. o., 2003. ISBN 80-900860-3-9.
PETERKA, J., MOROVIČ, L. *Reverse Engineering*. In. Strojársto/Strojírenství, roč. 9., 3/2005, Žilina: MEDIA/ST s. r. o., 2005. 52 p. ISSN 1335-2938.
TURNOVÁ, Z., LOŠÁK, G. *Bezpečnosť pri laserových technológiach (Safety of Laser Technologies)*. In: Nové smery vo výrobných technológiach 2004, Prešov 110 Slovak Republic, 17-18 June 2004. 584-589 p. ISBN 80-8073-136-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Čepová, Ph.D.**


Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. května 2010

..... Filip Biebl
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: *20. května 2010*

Filip Richter
.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Filip Richter

Adresa trvalého pobytu autora práce: Lazecká 269, Staré Město
738 01 Frýdek – Místek

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

RICHTER, F. *Reverse Engineering : bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2010, 45 s. Vedoucí práce: Čepová, L.

Hlavní náplní této práce je vysvětlení, co samotný proces Reverse Engineerig (RE) znamená, na jakém principu funguje a jaké je jeho využití. Proces RE se využívá nejen ve strojírenství či automobilovém průmyslu k získání virtuálních 3D modelů součástí nebo dokumentace, ale jeho uplatnění najdeme i ve stavebnictví, architektuře, zdravotnictví nebo při získávání zdrojových kódů. Je zde popsáno široké pole působnosti, ve kterém se tento proces používá, uvedeny základní principy 3D digitalizace a rozdělení používaných metod. Experimentální část je zaměřena především k zachycení geometrického tvaru součásti a na úpravu naskenovaných dat.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

RICHTER, F. *Reverse Engineering : Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2010, 45 p. Thesis head: Čepová, L.

The main concern of this work is to explain what the actual process of Reverse Engineerig (RE) implies the principle of what works and what is its use. RE process is used both in engineering or the automotive industry to obtain the virtual 3D models of components or documentation but its application can be found in construction, architecture, health, or in obtaining the source code. It describes a wide scope in which this process is used, set the basic principles of 3D digitization and distribution methodology. The experimental section is intended primarily to capture the geometric shape of components and adjustment of scanned data.

Obsah

	strana
1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	8
2. ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA RE	10
2.1 Charakteristika RE	10
2.2 Využití RE	11
2.3 Rozdělení 3D skenerů	13
2.3.1 Bezkontaktní skenery	14
2.3.2 Kontaktní skenery	19
2.4 Zpracování dat po skenování	21
2.5 Software pro RE	21
3. PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU RE	23
3.1 Výrobci 3D měřících zařízení	23
3.2 Distribuce RE	28
3.3 RE proces na univerzitách	29
4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	30
4.1 Postup práce	31
5. VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	35
6. ZÁVĚR	38
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	39
8. SEZNAM PŘÍLOH	42

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam anglicky	Význam česky
ATOS	Advanced Topometric Sensor	Typ 3D skeneru
CAD	Computer Aided Design	Počítačová podpora konstruování
CCD	Charge-Coupled Device	Zařízení s vázanými náboji
CMM	Coordinate Measuring Machine	Souřadnicově měřicí stroj
RE	Reverse Engineering	Zpětné inženýrství
RP	Rapid Prototyping	Rychlá výroba prototypů
2D	2 Dimensional	Dvourozměrný
3D	3 Dimensional	Trojrozměrný

SEZNAM OBRÁZKŮ

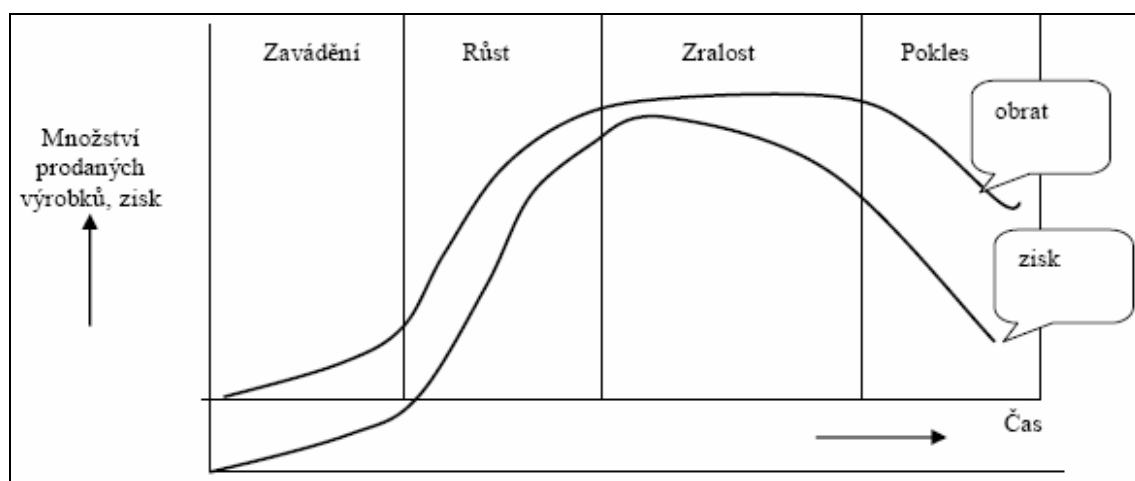
Obrázek	Název obrázku	Strana
Obr. 1.1	Životní cyklus výrobku	8
Obr. 1.2	Využití Reverse Engineering ve výrobních etapách	9
Obr. 2.1	Klasický výrobní proces	10
Obr. 2.2	Proces Reverse Engineering	10
Obr. 2.3	Časová náročnost na tvorbu počítačového modelu	11
Obr. 2.4	Příprava a hotový 3D sken rotoru turbíny	12
Obr. 2.5	Průběh skenování historického předmětu	12
Obr. 2.6	RE proces ve zdravotnictví	13
Obr. 2.7	Optický skener ATOS III	15
Obr. 2.8	Skenovací systém TRITOP	15
Obr. 2.9	Schématické znázornění prostorové polární metody	16
Obr. 2.10	Princip činnosti 3D skeneru založeném na laserovém principu (vlevo zdroj, vpravo senzor)	16
Obr. 2.11	Jednokamerový princip	17
Obr. 2.12	Dvoukamerový princip	17
Obr. 2.13	Konica Minolta Range5	17
Obr. 2.14	Přenosné měřicí rameno Romer Infinite 2.0	20
Obr. 2.15	CMM Checkmaster 216-142	20
Obr. 2.16	Software CySlice	22
Obr. 3.1	3D digitizér ATOS I	23
Obr. 3.2	Creaform REVscan (vlevo) a EXAscan (vpravo)	24
Obr. 3.3	FaroArm Quantum	25
Obr. 3.4	Laser ScanArm V3 (vlevo) a Photon Laser Scanner	25
Obr. 3.5	KONICA MINOLTA VI-910	26
Obr. 3.6	ROMER Multi Gage	27
Obr. 3.7	Zeiss PRISMO Navigator	27
Obr. 3.8	Zeiss PRO T	27
Obr. 4.1	3D skener Konica Minolta VI – 900	30
Obr. 4.2	Součást pokrytá křídovým práškem	31
Obr. 4.3	Zaměřování součásti	32
Obr. 4.4	Zaostření a ukázka skenu	32
Obr. 4.5	Paměťová karta ve skeneru	33
Obr. 4.6	Skeny v nesloženém stavu	33
Obr. 4.7	Vyznačení bodů na jednotlivých skenech	34
Obr. 4.8	Složené jednotlivé snímky	34
Obr. 5.1	3D model součásti	35
Obr. 5.2	Vyhodnocení odchylek – přední strana	35
Obr. 5.3	Vyhodnocení odchylek – zadní strana	36
Obr. 5.4	Řez při porovnávání modelů	36

SEZNAM TABULEK

Tabulka	Název tabulky	Strana
Tab. 2.1	Základní parametry skeneru ATOS III	15
Tab. 3.1	Základní parametry skeneru ATOS I	23
Tab. 3.2	Technické parametry REVscan a EXAscan	24
Tab. 3.3	Technické parametry skeneru KONICA MINOLTA VI-910	26
Tab. 4.1	Parametry 3D skeneru Konica Minolta VI-900	30

1. Úvod do problematiky

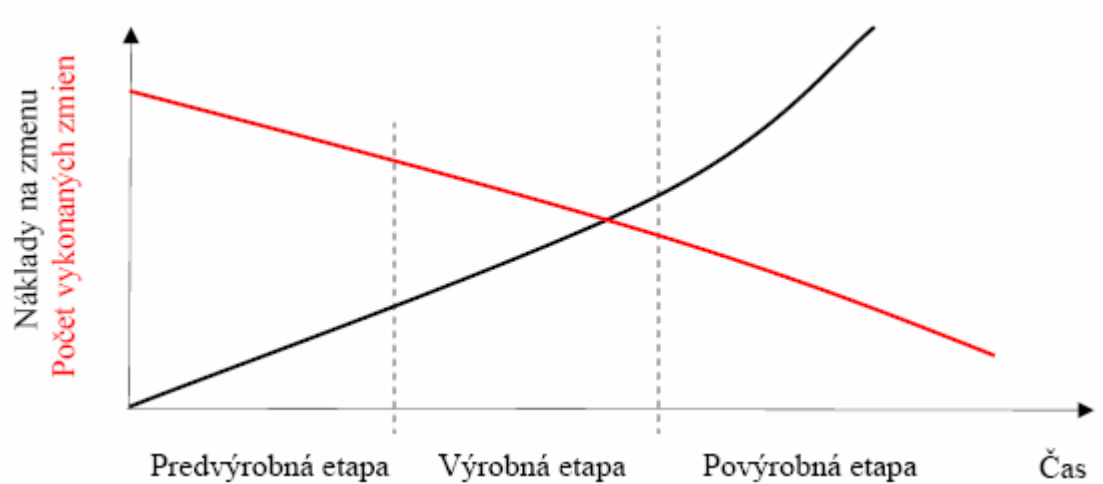
Vývoj v oblasti průmyslu klade neustále zvyšující se požadavky především na kvalitu a cenu výrobků. Dnes existuje mnoho firem zabývajících se stejnou problematikou, a proto je pro ně velmi důležité přicházet na trh s něčím novým, čím by své zákazníky uspokojili a nepřešli ke konkurenci. Řídí se podle životního cyklu výrobku, zobrazeném na obr. 1.1, kde ve fázi poklesu vylepší stávající produkt nebo vyrobí nový. Tím je kladen veliký důraz na urychlení vývoje a poté i výroby. Nástrojem, který takové urychlení umožňuje, je proces Reverse Engineering (RE).



Obr. 1.1 – Životní cyklus výrobku [15]

Zatím co konvenční inženýrství převádí koncepty a modely do reálných součástí, v procesu Reverse Engineering jsou existující součásti převáděny zpět do počítačových konceptů a modelů [3]. Tímto procesem lze převést téměř jakoukoli součást do virtuální podoby. V CAD systémech (Inventor, CATIA, Pro/Engineer,...) je možné provést různé změny tvaru, pevnostní, tepelné analýzy nebo vytvořit chybějící výkresovou dokumentaci.

Úpravou virtuálních modelů dosahujeme v konečné fázi výrobního procesu nižší časové náročnosti a nižší ceny výrobku. Hlavní využití Reverse Engineering je především v předvýrobní etapě, v které se provádí nejvíce změn – obr. 1.2.



Obr. 1.2 – Využití Reverse Engineering ve výrobních etapách [1]

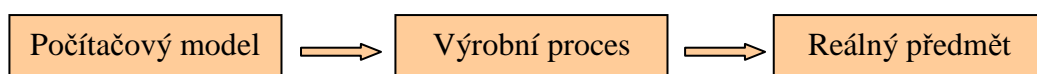
Cíle této bakalářské práce jsou:

- charakteristika procesu, rozdělení typů skenovacích zařízení a softwarů, postup při zpracování naskenovaných dat,
- prakticky se seznámit s přípravou a skenováním jednoduchého předmětu, kterým je kryt kabeláže.

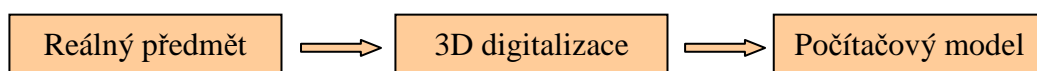
2. Základní charakteristika RE

2.1 Charakteristika RE

Reverse Engineering (RE) je opakem klasického výrobního procesu, který můžeme nazývat Forward Engineering (dopředné inženýrství), u kterého se nejprve navrhne počítačový model, poté proběhne výroba a nakonec vznikne reálný předmět (obr. 2.1). U RE převádíme pomocí příslušného vybavení reálný předmět zpět do virtuální podoby (obr. 2.2).



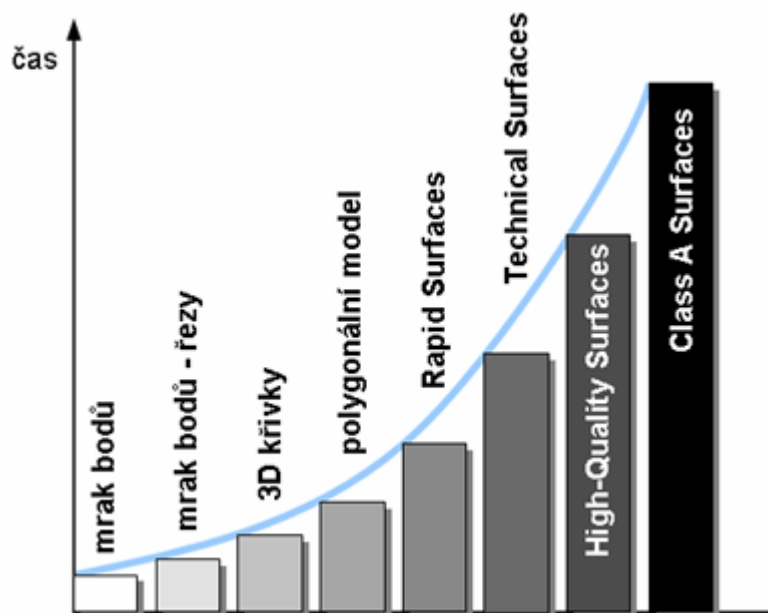
Obr. 2.1 – Klasický výrobní proces



Obr. 2.2 – Proces Reverse Engineering

Převod reálného předmětu do virtuální podoby se nazývá 3D digitalizace. Jedná se o nasnímání (skenování) reálného předmětu pomocí 3D měřících zařízení (skenerů). Počítačový model pak může mít několik podob [4]:

- mrak bodů,
- mrak bodů - řezy v požadovaných místech,
- 3D křivky v požadovaných místech,
- polygonální model,
- plošný model - Rapid Surfaces,
- plošný model - Technical Surfaces,
- plošný model - High-Quality Surfaces,
- plošný model - Class A Surfaces.



Obr. č. 2.3 – Časová náročnost na tvorbu počítačového modelu [4]

Takto vytvořené modely, které se od sebe liší přesností, napojením ploch, hladkostí, se převádějí na formáty podporované CAD systémy. V praxi jsou nejčastěji požadovány polygonální modely a plošné modely v kvalitě Technical Surfaces (tečné napojení, odchylka od mraku bodů 0,15mm) [4].

Základem procesu RE jsou dva kroky:

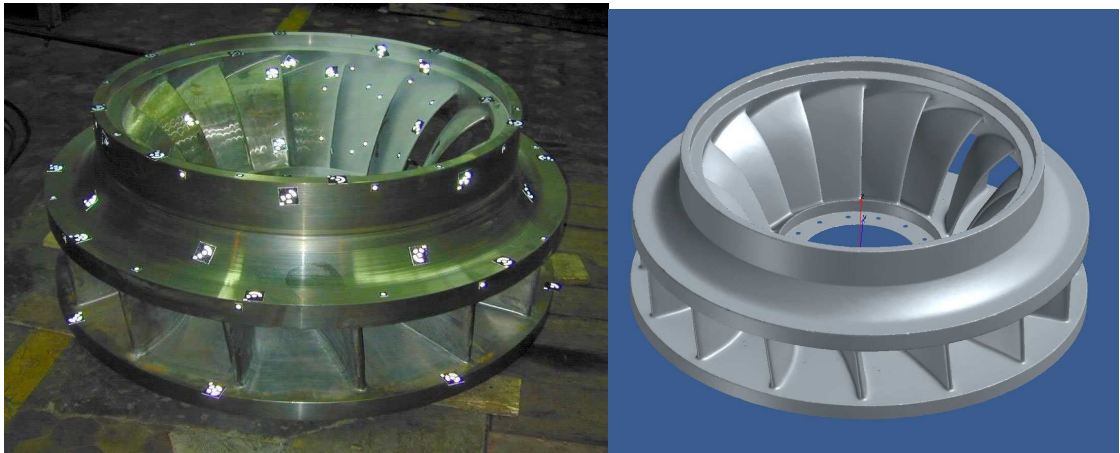
- naskenování povrchu reálného předmětu,
- zpracování dat a vytvoření 3D modelu.

2.2 Využití RE

Reverse engineering proces je dnes používán v různých oborech. Jeho schopností se využívá při návrhu designu, stavbě a rekonstrukci staveb, restaurování historických předmětů, softwarové analýze součástí, vytváření neexistující nebo ztracené výrobní dokumentace a v softwarovém inženýrství. Obrovský přínos představuje pro zdravotnictví, film a vývoj počítačových her.

Návrh designu

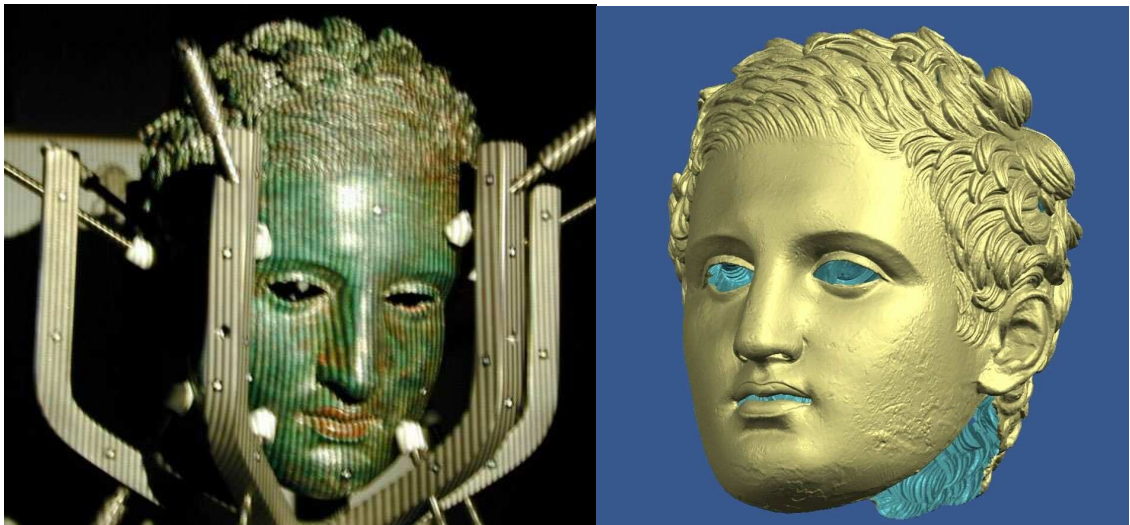
Vhodné pro designéry, kteří svůj návrh mohou naskenovat a pomocí příslušného softwaru dále upravit. Případně pomocí 3D počítačového modelu a Rapid Prototyping (RP) model vytvořit v krátkém čase a levněji, oproti výrobě součástí.



Obr. 2.4 – Příprava a hotový 3D sken rotoru turbíny [10]

Stavba, rekonstrukce staveb, restaurování historických předmětů

Pomocí 3D skenerů lze nasnímat celé budovy, mosty, haly. Získáme tak 3D model, který dále můžeme upravit a provést tak například rekonstrukci poničených budov apod. Obdobný postup je užíván při restaurování historických předmětů.



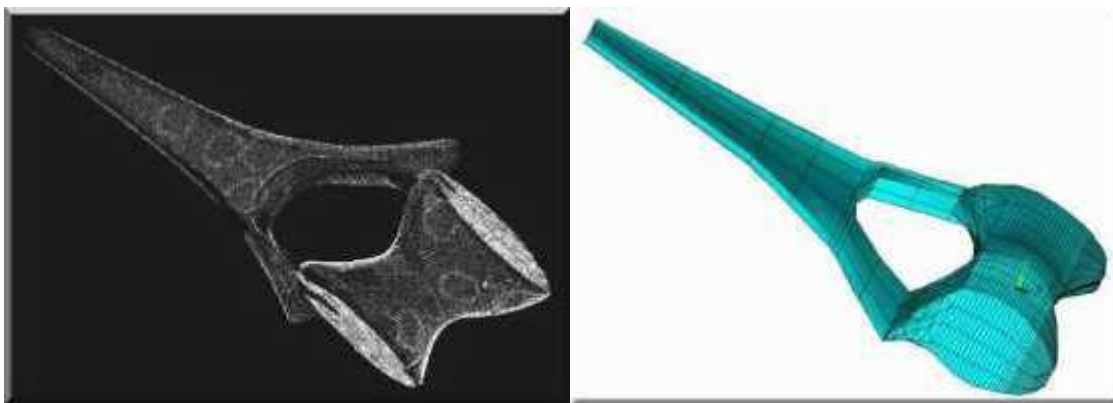
Obr. 2.5 – Průběh skenování historického předmětu [11]

Softwarová analýza

Využívá se k zjištění např. pevnostních charakteristik reálné součásti (není k dispozici 3D model) např. pomocí programu ANSYS Workbench. Zejména v lékařství je po nalezení optimálního tvaru protézy důležité provést analýzu a vyloučit tak vznik mezních stavů vedoucích k poškození protézy [4].

Zdravotnictví

Především pro skenování lidských kostí a poté k vytváření protéz nebo ke skenování lidského těla s následným vyšetřením. Využívá se např. ultrazvuku, rentgenu.



Obr. 2.6 – RE proces ve zdravotnictví [5]

Film a vývoj počítačových her

Při vytváření filmového nebo herního prostředí. Jedná se např. o budovy, okolí, k vytvoření postav a různých simulací.

2.3 Rozdělení 3D skenerů

Jak již bylo zmíněno, k nasnímání reálného předmětu se používají 3D skenery. Tato zařízení snímají povrch předmětu v určitých bodech a digitalizovaný předmět je pak definován shlukem bodů, tzv. mrakem bodů. Skenovací zařízení se od sebe liší především způsobem snímání bodů.

Zda při skenování zůstává předmět neporušen nebo je ho třeba mechanicky upravit, např. pokud je předmět dutý a dutiny bychom jinak nemohli zaznamenat, můžeme skenery rozdělit na:

- nedestruktivní,
- destruktivní.

Skenery dále dělíme na:

- bezkontaktní,
- kontaktní.

Abychom zajistili zachycení všech potřebných dat z povrchu předmětu k jeho převodu do digitální podoby, je třeba zvolit vhodnou metodu a tím i 3D skener. Například při použití nedestruktivního kontaktního skeneru bychom nemuseli zaznamenat členité dutiny.

2.3.1 Bezkontaktní skenery

Využívá se zde světelného záření, vlastností zvuku a magnetického pole.

Bezkontaktní skenery jsou:

- světelné – optické, laserové,
- akustické,
- magnetické.

Optické skenery

Skenovaný předmět je snímán z různých úhlů optickým zařízením. Předmět různě natočíme např. polohovacím zařízením (krokový motorek řízený počítačem) a naskenujeme. Takto předmět skenujeme ze všech stran, nasnímaná data se odesílají do počítače a nakonec proběhne jejich vyhodnocení. Je výhodné mít více snímků, tím dosáhneme vyšší kvality digitalizovaného předmětu.

Důležité je také pozadí za skenovaným předmětem (barva vysoce kontrastní s předmětem), abychom předmět mohli oddělit od prostředí. Pro lepší spojování snímků, z nichž vznikne výsledný objekt, je dobré si na jednotlivých snímcích vyznačit orientační body.

Mezi výhody optických skenerů patří informace o povrchu předmětu (textuře), které jsou obsaženy ve skenovacích datech.

Nevýhodou je nemožnost zreprodukovat prohlubně a díry, které nejsou průchozí, protože optické skenery vytváří 2D snímky a z nich jsou schopny rozpoznat jen náznaky změn hloubky povrchu v kritických místech prohlubní.

Jako příklad uvádím skenery ATOS (obr. 2.7) TRITOP (obr. 2.8).



Obr. 2.7 – Optický skener ATOS III [8]

Tab. 2.1 – Základní parametry skeneru ATOS III [32]

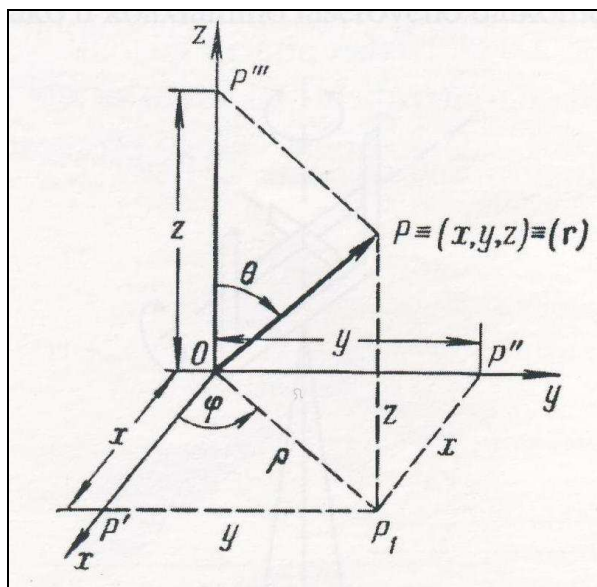
	ATOS III
Naměřené body	
[-]	4 000 000
Čas měření	
[s]	2
Měřicí rozsah	
[mm x mm]	150x150 až 2000x2000
Vzdálenost mezi body	
[mm]	0,07 až 1,00



Obr. 2.8 – Skenovací systém TRITOP [9]

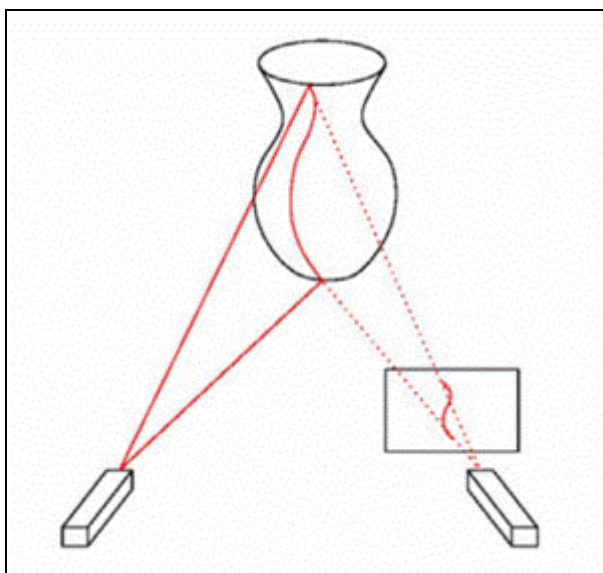
Laserové skenery

Základním principem fungování laserového skeneru je prostorová polární metoda (obr. 2.9). K určení souřadnic bodu P je třeba znát délku průvodiče r (měřená délka) a úhly θ , φ . [2]



Obr. 2.9 – Schématické znázornění prostorové polární metody [2]

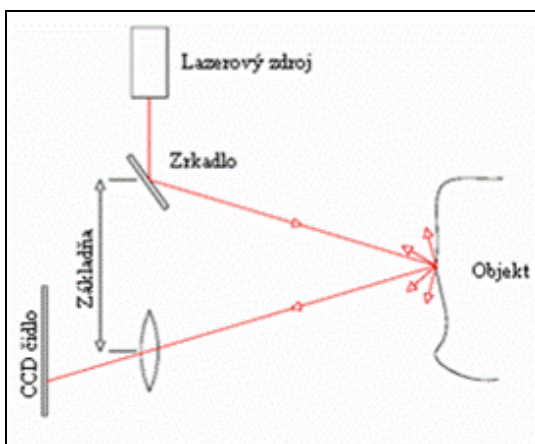
Ze zdroje je vysílán paprsek na skenovaný objekt, od kterého se paprsek odrazí a zachytí se senzorem (obr. 2.10).



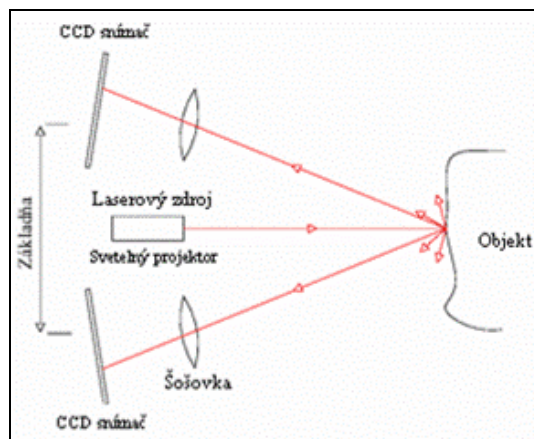
Obr. 2.10 – Princip činnosti 3D skeneru založeném na laserovém principu (vlevo zdroj, vpravo senzor) [6]

Ke snímání povrchu slouží například vzdálenostní laserové skenery nebo skenery využívající triangulační metody. U vzdálenostních skenerů měříme vzdálenost mezi skenerem a objektem v různých bodech a podle polohy a doby vyslání a přijetí laserového paprsku vypočítáme potřebné hodnoty k vytvoření sítě bodů. Vzdálenostní skenery jsou cenově dostupné, nevýhodou je nižší přesnost řádově v milimetrech a časová náročnost skenování.

Triangulační metoda využívá polohy a úhly mezi světelným zdrojem a snímacím zařízením k zjištění polohy [3]. Vysílaný paprsek může být usměrňován zrcadly a senzor je složen z CCD prvků. Podle úhlu dopadu paprsku a doby od vyslání po zachycení paprsku senzorem vypočítáme polohu jednotlivých bodů. Triangulační skenery mohou být jednokamerové nebo dvoukamerové, jejich princip je znázorněn na obr. 2.11 a obr. 2.12. Na obr. 2.13 je příklad laserového 3D skeneru využívajícího triangulační metodu.



Obr. 2.11 – Jednokamerový princip [6]



Obr. 2.12 – Dvoukamerový princip [6]



Obr. 2.13 – Konica Minolta Range5 [12]

Charakteristika laserových skenerů (LS) [6]

Rychlost LS – určuje se podle počtu bodů nasnímaných za jednu sekundu. Skenery v technické praxi mohou snímat až tisíce bodů během jedné vteřiny. Rychlost přímo souvisí s dobou transformace dat do virtuální podoby.

Přesnost LS – je dána množstvím chybných bodů v neskenovaném mračnu bodů. Chyby jsou ovlivňovány:

- úhlovou přesností LS – je dána počtem zrcadel usměrňujících laserové paprsky a jejich přesností výroby,
- vzdáleností – každý skener má daný rozsah vzdálenosti skenování, také je třeba zohlednit velikost objektu, materiál, čistotu atmosféry, jiné zdroje záření,
- rozlišením LS – určuje se podle vzdálenosti mezi jednotlivými neskenovanými body,
- hranovým efektem
- odrazivostí objektu – závisí na úhlu dopadu paprsku, drsnosti a barvě povrchu,
- pracovními podmínkami – pracovní teplota, hustota pracovní atmosféry, interferenční radiace.

Textury – pokud je potřeba znát barvu předmětu. Některé skenery získávají informace o barvě během skenování (v reálném čase), ostatní z 2D fotek získaných ihned po skenování.

Akustické skenery

Akustické nebo-li ultrazvukové skenery využívají k získání potřebných dat ze skenovaného předmětu vlastností zvuku. Skenování probíhá prostřednictvím ultrazvukové sondy ve tvaru pistole s kovovým hrotem. Sonda se přiloží na určitém místě a zmáčkne se spoušť. Tím se vyšle signál, který je pomocí speciální konstrukce s ultrazvukovými čidly dekodován do prostorových souřadnic. Přijatá data se dají vkládat přímo do CAD systémů. Přesnost získaných dat se pohybuje od 0,3 mm až po 0,5 mm.

Magnetické skenery

Ke skenování je využíváno magnetické rezonance. Využití těchto skenerů je především při skenování složitých předmětů s dutinami. Mezi nevýhody patří vysoká cena, předmět musí být uložen v přístroji a vyroben z materiálu s vhodnými fyzikálními vlastnostmi.

Rentgenové skenery

Pomocí těchto zařízení zjišťujeme především vnitřní strukturu zkoumaných předmětů. Princip rentgenových 3D skenerů je obdobný jako u skenerů používaných ve zdravotnictví, ovšem záření má vyšší intenzitu než ve zdravotnictví.

K bezkontaktnímu skenování se dnes používá celá řada různých metod. Zde je zmíněno několik základních, ostatní metody jsou pak od nich odvozené nebo podobného principu. Jsou to například tyto technologie:

- počítačová tomografie,
- konoskopická holografie,
- kloubová ramena s laserovými nastavci,
- kontrastní optické skenování.

2.3.2 Kontaktní skenery

Kontaktní skenery využívají ke snímání povrchu dotek. Před skenováním je třeba určit, jakou metodou budeme daný předmět skenovat, abychom zachytili všechny potřebné informace.

Kontaktní skenery jsou složeny především ze dvou skupin:

- robotická ramena,
- CMM's (Coordinate Measuring Machine) – souřadné měřicí stroje.

Využívání doteku patří k metodám levným a často se využívají při vytváření designu nových výrobků, počítačových her, animaci kreslených filmů. Využívá se při tom mechanických ramen, která jsou na konci vybavena hrotem. V kloubech ramen jsou umístěna snímací zařízení, které zaznamenávají každý pohyb ramene a na základě velikostí nasnímaných hodnot se vyhodnotí polohy bodů. V počítači se pak zobrazí množství bodů definovaných souřadnicemi x , y a z .

Nevýhodou kontaktních skenerů může být jejich velikost, časová náročnost skenování a nižší přesnost získaných dat řádově v desetinách milimetrů. Také nejsou vhodné pro skenování předmětů složitých tvarů s dutinami.



Obr. 2.14 – Přenosné měřící rameno Romer Infinite 2.0 [13]

Jednou z hojně využívaných metod je používání souřadnicových měřících strojů (CMM – coordinate measuring machines). Tyto stroje snímají trajektorii povrchu a přitom probíhá sběr velmi přesných dat, která jsou téměř bez šumu.



Obr. 2.15 – CMM Checkmaster 216-142 [14]

2.4 Zpracování dat po skenování

Po naskenování předmětu je výstupem ze skeneru mrak bodů, který je tvořen množstvím bodů, jež mají přesně definovanou polohu v prostoru. Body jsou získávány z jednotlivých skenů (např. z jiné strany předmětu), poté se skeny složí dohromady a nakonec proběhne vytvoření trojúhelníkové polygonální sítě. Pomocí speciální programů se polygonální síť mohou dále upravovat a zpracovat na plošný model. Zpracování probíhá tak, že se vytvoří hraniční křivky a na ně kolmé křivky v místech s měnící se geometrií. Vzniknou části sítě ohraničené křivkami a program je pak proloží odpovídající plochou. Plošný model se porovná s polygonální sítí nebo složená naskenovaná data s CAD modelem (pokud je k dispozici) a určí se případné odchylky. Nakonec je vytvořen 3D model s možností uložení ve formátech podporovaných různými CAD programy, což umožňuje další operace s 3D modelem.

2.5 Software pro RE

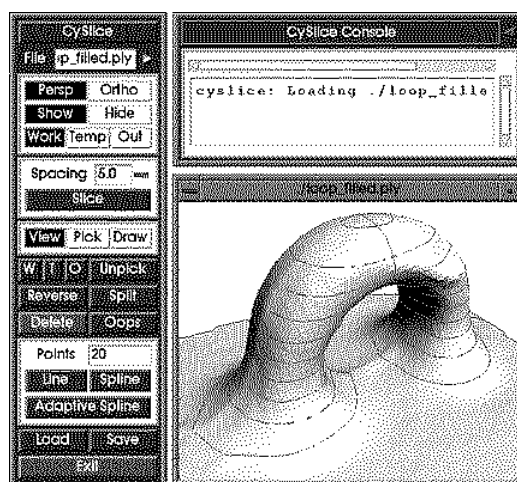
Abychom naskenovaná data (mrak bodů) mohli upravovat nebo z nich vytvořit digitální podobu skenované součásti, musíme použít speciální programy. Ideální software musí mít nástroje plošného modeláře rozšířené o funkce uvažující mrak bodů nebo polygonální síť [4].

Softwaru lze rozdělit do několika základních skupin, které se od sebe liší kvalitou výsledných modelů.

V první skupině jsou softwary pro High End aplikace. Využití je v automobilovém a leteckém průmyslu, kde jsou požadovány nejkvalitnější designové plochy a dynamické analýzy ploch a křivek. Patří zde softwary ICEM Surf firmy PTC a Imageware firmy EDS PLM Solutions.

Druhou skupinu tvoří softwary pro Polygonal Modeling a Rapid Surfacing. Použití těchto softwarů je ve filmovém průmyslu nebo při výrobě prototypů. Pro tyto aplikace slouží softwary např. Rhinoceros, PolyWorks, Geometric Studio, RapidForm, Paraform, CySlice (obr. 2.16). U těchto programů je výsledná rychlost důležitější než kvalita, používají se pro tvorbu méně náročných modelů.

V třetí skupině jsou zahrnuty různé nádstavbové moduly pro CAD systémy. Metris pro Mechanical Desktop, Scan Tools pro Pro/ENGINEER, Digitized Shape Editor pro CATII nebo FastSurf pro CADKEY [4].



Obr. 2.16 – Software CySlice [35]

3. Přehled současného stavu RE

V přehledu bude uvedeno několik významných světových výrobců zabývajících se problematikou 3D měření (skenování) a procesu RE. Také existuje celá řada společností, které jsou zaměřeny na distribuci a poskytování různých služeb v oblasti RE. Bude zmíněno i vybavení univerzit z České republiky a Slovenska.

3.1 Výrobci 3D měřících zařízení

GOM – Optical Measuring Techniques, Německo

Společnost zabývající se vývojem a distribucí optických měřících systémů, zaměřených na 3D digitalizaci, 3D měření souřadnic, měření deformací a kontrolu kvality. Mezi tyto měřící systémy patří – ATOS, ARAMIS, ARGUS, TRITOP, PONTOS, ESPI. Pro RE se především využívá systém ATOS (obr. 3.1), případně TRITOP.



Obr. 3.1 – 3D digitizér ATOS I [7]

Tab. 3.1 – Základní parametry skeneru ATOS I [32]

	ATOS I
Naměřené body	
[-]	800 000
Čas měření	
[s]	0,8
Měřicí rozsah	
[mm x mm]	125x100 až 1000x800
Vzdálenost mezi body	
[mm]	0.12 až 1.00

CREAFORM, Kanada

Firma se zabývá výrobou skenovacích systémů HANDYSCAN 3D a měřících systémů HandyPROBE. Tyto systémy mají velké uplatnění v průmyslu

automobilovém, leteckém, spotřebním, architektuře, zdravotnictví. Do systému HANDYSCAN 3D patří výrobky REVscan a EXAscan (obr. 3.2), které slouží nejen pro RE, ale také pro zachycení tvaru, designu, 3D inspekci nebo analyzování součástí.



Obr. 3.2 – Creaform REVscan (vlevo) a EXAscan (vpravo) [17]

Tab. 3.2 Technické parametry REVscan a EXAscan [33]

	REVscan	EXAscan
Hmotnost [kg]	0,98	1,25
Rozměry [s]	160 x 260 x 210	172 x 260 x 216
Snímání [snímků/s]	18 000	18 000
Třída laseru [-]	Třída 2	Třída 2
Rozlišení v ose Z [mm]	0,1	0,05
Přesnost [μm]	až 50	až 40
ISO [μm]	20 + 200 μm /m	20 + 100 μm /m

FARO

Výrobce přenosných měřících přístrojů pro velmi přesné 3D měření. FARO měřící systémy jsou využívány v celé řadě odvětví průmyslu. Využívají se například pro skenování historických předmětů, inspekce komponentů a sestav, také se hojně využívají v architektuře, stavebnictví a strojírenství.

Ukázka produktů – na obr. 3.3 přenosné kontaktní 3D skenovací rameno, obr. 3.4 laserové 3D skenovací rameno a laserový skener.



Obr. 3.3 – FaroArm Quantum [18]



Obr. 3.4 – Laser ScanArm V3 (vlevo) [18] a Photon Laser Scanner [19]

KONICA MINOLTA, Japonsko

Firma má širokou oblast působnosti na trhu a jedna z těchto oblastí jsou právě měřicí systémy. K jejím výrobkům patří např. bezkontaktní 3D měřicí systémy RANGE 7, RANGE 5, VI-9i, VI-910 (obr. 3.5).



Obr. 3.5 – KONICA MINOLTA VI-910 [20]

Tab. 3.3 – Technické parametry skeneru KONICA MINOLTA VI-910 [34]

	KONICA MINOLTA VI-910
Hmotnost [kg]	11
Rozměry [s]	213 x 413 x 271
Snímání [snímků/s]	18 000
Třída laseru [-]	Třída 2, třída 1
Přesnost [mm]	X: $\pm 0,22$, Y: $\pm 0,16$, Z: $\pm 0,10$
Vstupní měřicí rozsah v ose x [mm]	111 až 463, 198 až 823, 359 až 1196
Vstupní měřicí rozsah v ose y [mm]	83 až 347, 148 až 618, 269 až 897
Vstupní měřicí rozsah v ose z [mm]	40 až 500, 70 až 800, 110 až 750
Čas vložení [s]	0,3 (rychle), 2,5 (optimálně), 0,5 (barevně)
Počet výstupních bodů [-]	307 000 (optimálně), 76 800 (rychle), 640 × 480 × 24 (barevná data)
Skenování rozsah [m]	0,6 až 2,5
Optimální 3D měřicí rozsah [m]	0,6 až 1,2
Provozní teplota [°C]	10 až 40

ROMER, Francie

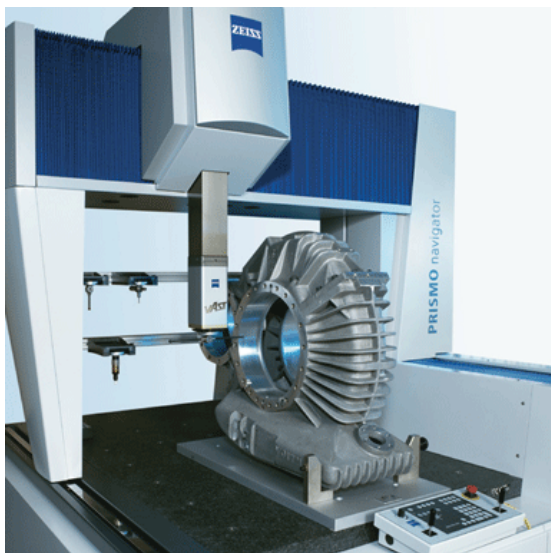
Vyrábí přenosná souřadnicově měřicí ramena včetně skenovacích sond pro RE. Tyto produkty jsou využívány v leteckém, automobilovém průmyslu. Na obr. 3.6 je uvedeno měřicí rameno.



Obr. 3.6 – ROMER Multi Gage [21]

CARL ZEISS, Německo

V oblasti 3D měření a skenování vyrábí společnost Carl Zeiss souřadnicové měřicí stroje (CMM) a rentgenové skenery. Souřadnicové měřicí stroje jsou buď s mostovou konstrukcí (obr. 3.7) nebo s horizontálním ramenem (obr. 3.8).



Obr. 3.7 – Zeiss PRISMO Navigator [22]



Obr. – 3.8 Zeiss PRO T [22]

3.2 Distribuce RE

Prima Bilavčík s. r. o., Česká republika

- firma poskytující zařízení pro 3D souřadnicové měření [23]

MCAE Systems s. r. o., Česká republika

- tato firma je zaměřena na rozvoj nových digitálních 3D technologií u nás i ve světě. Optické systémy – ATOS, TRITOP, ARAMIS, ARGUS, PONTOS. Mobilní měřicí ramena – MicroScribe G2 a MX. [24]

CAPTURE 3D, USA

- společnost provádějící 3D měření součástí v průmyslu leteckém, automobilovém, lékařském a stavebním. K měření využívá systémy ATOS a TRITOP. [25]

3D SCANCO, USA

- laserové skenování v různých odvětvích průmyslu. Využívané skenery – FARO PHOTON, KONICA MINOLTA VIVID 9i/910, HANDYSCAN 3D REVSCAN, HANDYSCAN 3D EXASCAN. [26]

GEODETICCA 3D SCAN WORKS, s. r. o., Slovenská republika

- laserové skenování prostorových objektů. [27]

PERCEPTRON, USA

- firma mimo jiné využívající technologii laserového skenování v procesu RE k aktualizaci CAD modelů. [28]

NMS s. r. o., Slovenská republika

- společnost poskytující expertních produktů a služeb v oblasti bezkontaktní měřicí techniky. Nabízené produkty jsou od společností Leica, Steinbichler a Romer. [29]

3.3 RE proces na univerzitách

Technická univerzita v Liberci – Katedra výrobních systémů [30]

Ve vybavení laboratoří na Katedře výrobních systémů najdeme kontaktní měřicí zařízení MicroScribe – 3D.

Žilinská univerzita v Žilině – Strojnická fakulta – Katedra konstruování a částí strojů [6]

V laboratoři Katedry konstruování a částí strojů nalezneme tyto stroje:

- FARO Laser ScanArm – kontaktní i bezkontaktní měření (laserová hlavička),
- Konica Minolta VI-900 – bezkontaktní laserové skenování,
- MORA MS 10 – kontaktní měřicí zařízení.

Žilinská univerzita v Žilině – Strojnická fakulta – Katedra průmyslového inženýrství [31]

V laboratoři 3D projektování výrobních systémů této katedry se nachází následující typ skenovacího zařízení:

- FARO LS 880 – jedná se o laserový 3D skener.

Provádí se zde 3D projektování výrobních systémů a uchovávání 3D digitalizovaných virtuálních modelů reálných objektů.

4. Experimentální část

Experimentální část bakalářské práce je zaměřena především na skenování předmětu a porovnání odchylek získaného skenu s 3D modelem součásti. Součást bude měřena bezkontaktním laserovým skenerem Konica Minolta VI – 900 (obr. 4.1) v prostorách budovy CEIT na Žilinské univerzitě v Žilině – Strojnická fakulta – Katedra konstruování a částí strojů.



Obr. 4.1 – 3D skener Konica Minolta VI – 900

Tab. 4.1 – Parametry 3D skeneru Konica Minolta VI-900 [36]

	KONICA MINOLTA VI-900
Vzdálenost objektu [m]	0,6-1,2
Zorné pole [mm]	111 x 84 – 1300 x 1100
Rozlišení v osách XY [mm]	0,17
Rozlišení v ose Z [mm]	0,047
Velikost textury [-]	640 x 480 pixelů
Formát pixelu [-]	RGB
Velikost geometrie [-]	640 x 480 geom.bodů
Maximální počet bodů [-]	307 200
Rychlost snímání [s]	0,3 / 2,5
Rychlost přenosu [s]	<5,0
Výměnný objektiv [-]	ano
Váha [kg]	11
Rozměry skeneru [mm]	210 x 420 x 326

4.1 Postup práce

Měření se skládalo z těchto kroků:

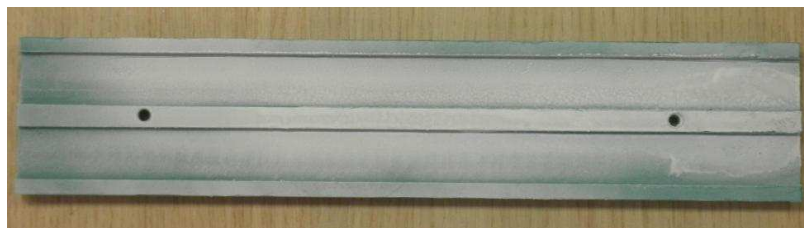
- příprava součásti,
- skenování,
- přenesení dat do počítače,
- skládání jednotlivých skenů.

Příprava součásti před skenováním

Před každým skenováním je vždy třeba upravit povrch součásti tak, aby bylo možné pořídít co nejlepší snímky. Platí to jak při skenování kontaktními metodami, tak bezkontaktními.

V našem případě bude součást skenována bezkontaktní metodou. Součást se očistí od nečistot a mastnot a nanese se na ni tenká vrstva křídového spreje. Skenované součásti mohou být z různých materiálů a s různým provedením povrchu – např. tmavý, lesklý. Tyto dva uvedené příklady povrchu mají špatný vliv na odrazové vlastnosti světelného paprsku (v našem případě laserového) a proto nanesení tenké křídové vrstvy zajistí lepší snímání.

Také je vhodné vyznačit na součásti záchytné body (např. nalepovací terčíky) a usnadnit si následné spojování jednotlivých skenů a zvýšit přesnost 3D modelu.



Obr. 4.2 – Součást pokrytá křídovým práškem

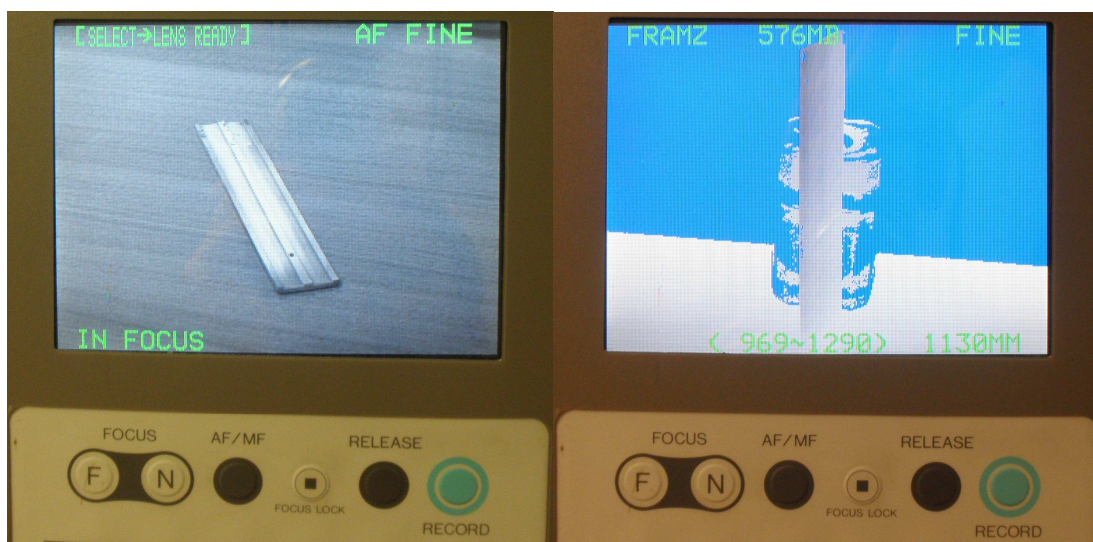
Skenování

Jak již bylo zmíněno, skenování probíhalo laserovým skenerem Konica Minolta VI – 900 (obr. 4.1). Součást jsme postavili na měřicí stůl a zaměřili ji skenerem (obr. 4.3). Zaměřování probíhalo polohováním celého skeneru a kontrolovalo se pomocí displeje. Jakmile byla součást zaměřena (zobrazena uprostřed displeje), proběhlo ostření. Nápisem na displeji „IN FOCUS“ je signalizováno zaostření a zmáčknutím tlačítka RELEASE proběhlo skenování (obr. 4.4). Poté se naskenovaná data uložila

na paměťovou kartu (stiskem tlačítka RECORD). Součást se poté pootočila a provedlo se další skenování. Pootočení se provede tak, aby následující sken obsahoval plochu aktuální i část plochy minulé. Obecně platí, že čím více zhotovíme skenů, tím je konečný model přesnější.



Obr. 4.3 – Zaměřování součásti



Obr. 4.4 – Zaostření a ukázka skenu

Přenesení dat do počítače

Přenos dat je možný dvěma způsoby:

- přímo – skener je s počítačem propojen kabelem,

- nepřímo – pomocí paměťové karty.

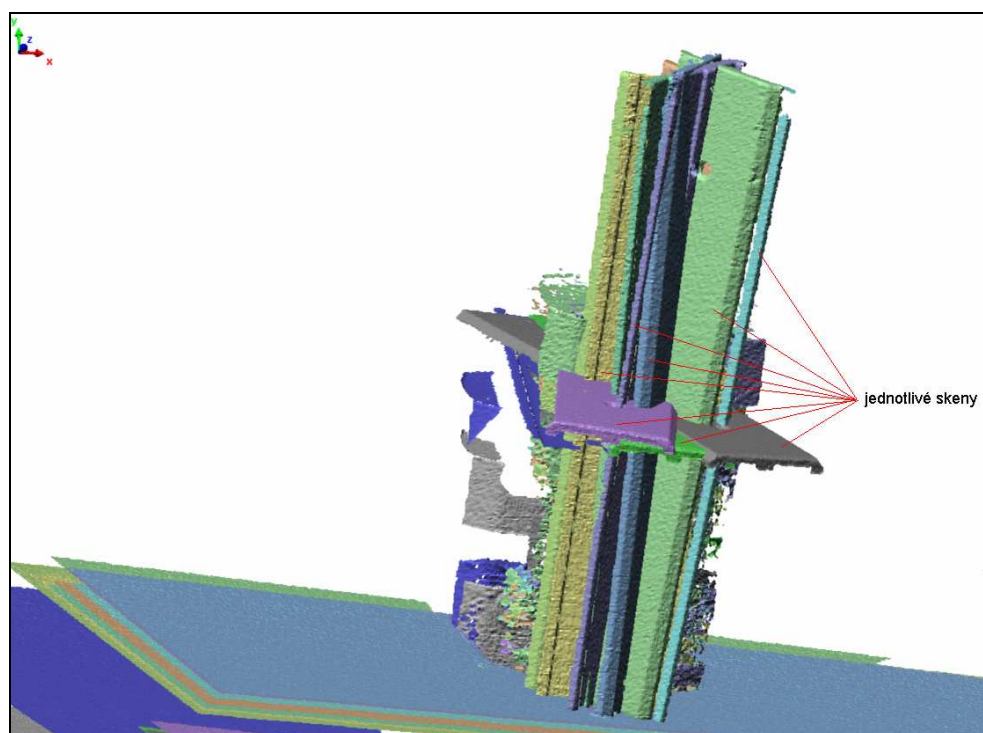
V našem případě se data ukládala na paměťovou kartu (obr. 4.5), následně se data přenesla do počítače.



Obr. 4.5 – Paměťová karta ve skeneru

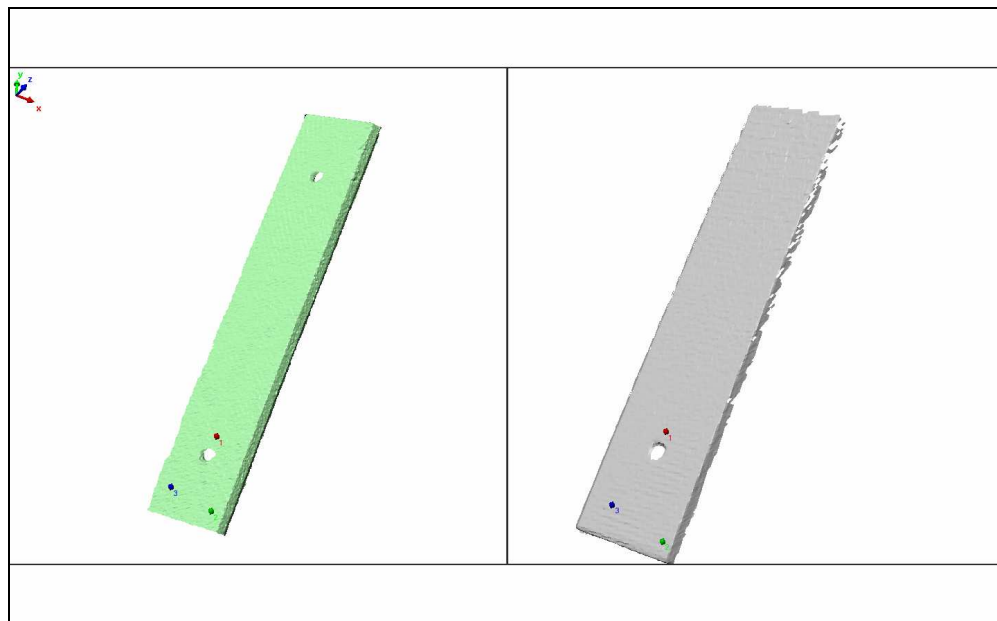
Skládání jednotlivých skenů

Po procesu skenování byly získány snímky součásti z různých stran, které se přenesly do softwaru (Polyworks V11) pro další zpracování. Nejprve se jednotlivé skeny vyčistily (odstranila se přebytečná data, případně špatné skeny) a poté se mohlo začít se skládáním.



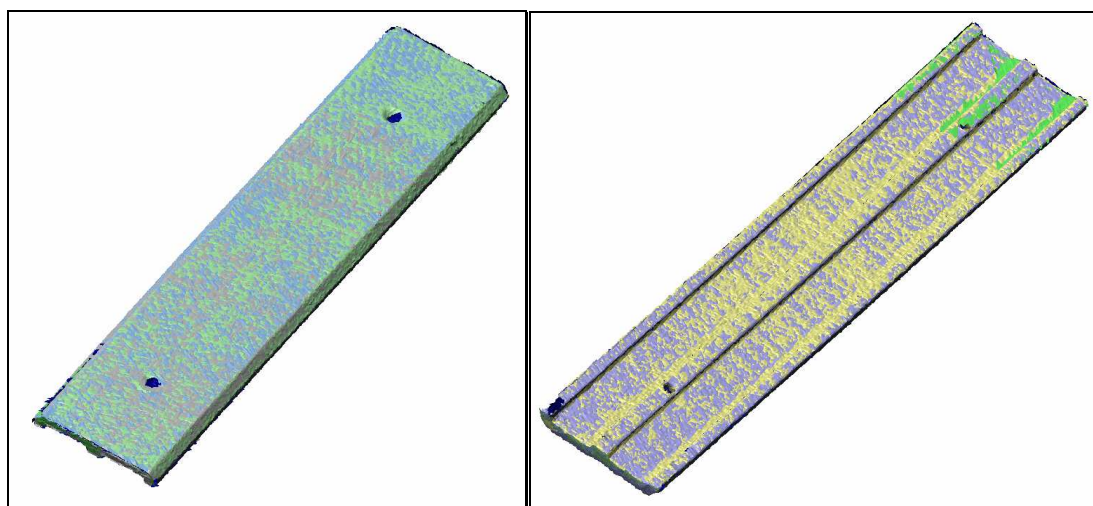
Obr. 4.6 – Skeny v nesloženém stavu

Skládání probíhalo manuálně s označováním přibližných bodů, podle kterých se jednotlivé snímky spojí (obr. 4.7).



Obr. 4.7 – Vyznačení bodů na jednotlivých skenech

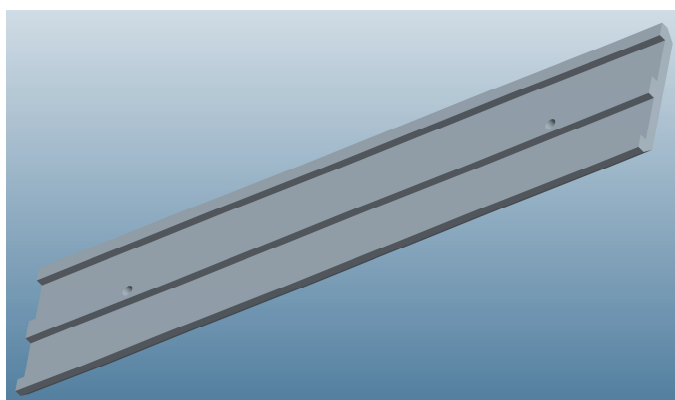
Vždy, když se spojily dva snímky a spojení vyhovovalo, spojení se uzamklo a pokračovalo se s dalším navazováním. Složené snímky jsou znázorněny na obr. 4.8.



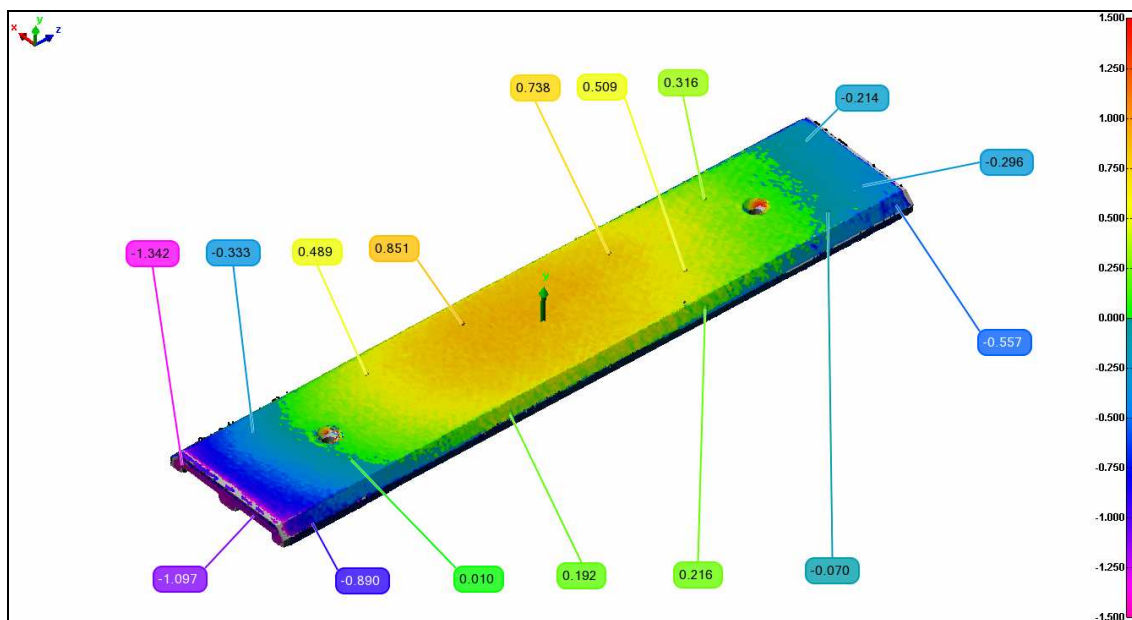
Obr. 4.8 – Složené jednotlivé snímky

5. Vyhodnocení výsledků měření

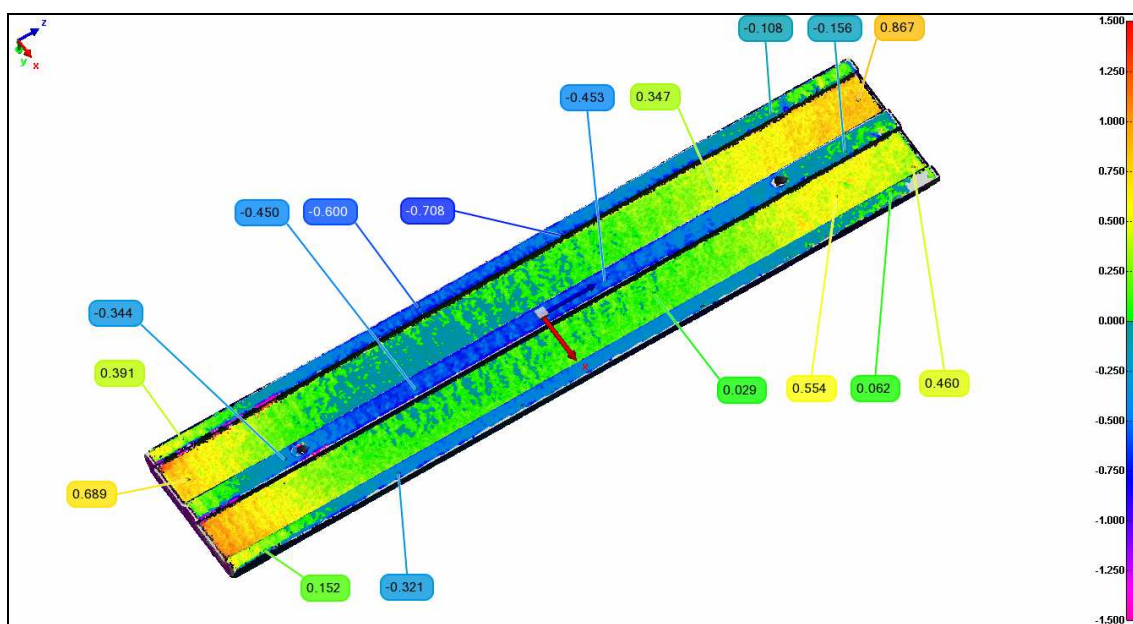
Posledním krokem, bylo vyhodnocení přesnosti porovnáním 3D modelu součásti (obr. 5.1) s naskenovanými daty. Na obrázcích 5.2 a 5.3 jsou odchylky barevně rozlišeny a hodnoty jsou uvedeny v milimetrech. Největší odchylky můžeme pozorovat z přední strany (uprostřed a levém konci, obr. 5.2), ze zadní strany na obou koncích (obr. 5.3).



Obr. 5.1 – 3D model součásti

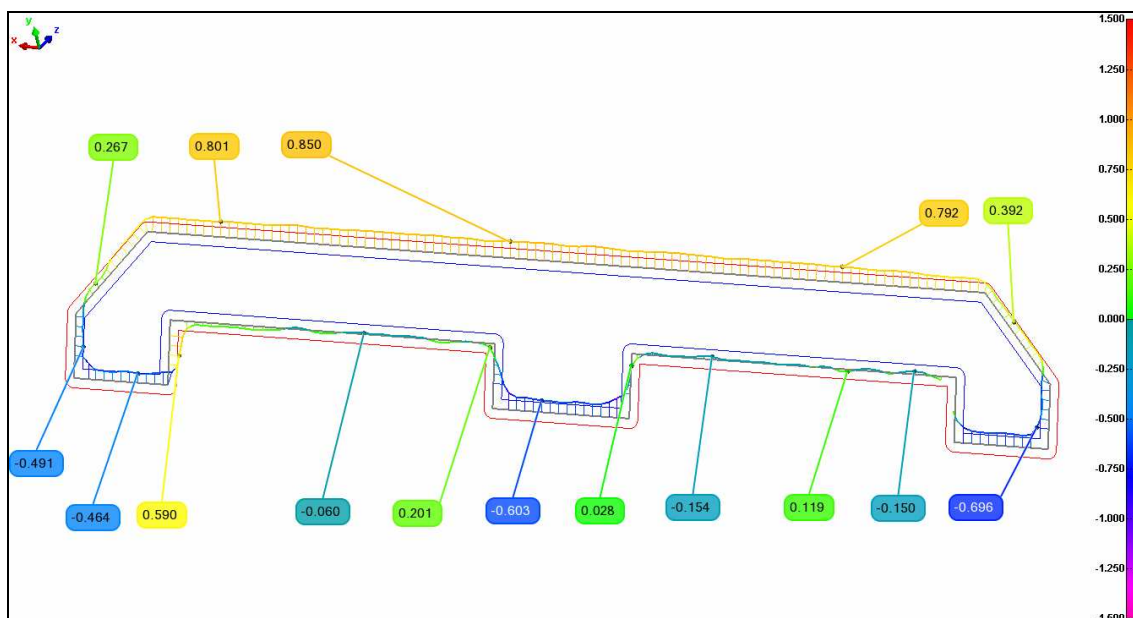


Obr. 5.2 – Vyhodnocení odchylek – přední strana



Obr. 5.3 – Vyhodnocení odchylek – zadní strana

Obr. 5.4 znázorňuje jednotlivé odchylky v příčném řezu. Z řezu také vidíme odchylky od skutečného tvaru (získaný skenováním) a 3D modelu. Z tohoto pohledu je patrné, že skutečný model není úplně stejný jako 3D model.



Obr. 5.4 – Řez při porovnávání modelů

Na odchylky a celkovou přesnost mají veliký vliv použitý typ skeneru, podmínky měření, složitost a opotřebování součásti. Proto je vždy velmi důležité si před celým

procesem uvědomit, jak přesný má být sken, aby vyhovoval daným podmínkám použití.

6. Závěr

Teoretická část bakalářské práce byla zaměřena na analýzu současného stavu a charakteristiku procesu Reverse Engineering. Dnes se tímto procesem zabývá mnoho společností a jsou i předmětem studia na mnoha univerzitách. Díky tomu je proces Reverse Engineering stále se rozvíjející. Největší přínos bych přiřadil do oblasti zdravotnictví a poté do leteckého a automobilového průmyslu. V těchto případech je nejdůležitější zdraví a bezpečnost lidí.

V experimentální části byla měřena jednoduchá součást a porovnána s 3D modelem. Vyhodnocením byly získány odchylky tvaru (optimální tvar vs. skutečný tvar). Největší odchylka byla 1,342 mm a nejmenší 0,010 mm (obr. 5.2). Vznik velkých odchylek mohl být zapříčiněn:

- malým počtem skenů a jejich kvalitou,
- skládáním pomocí přibližných bodů.

Možnosti snížení odchylek:

- dostatečný počet skenů, případně v průběhu úprav udělat skeny jen z určitých stran,
- skládání provádět podle pevně určených bodů,
- volba jiného skeneru s vyšší přesností.

Proto je velmi důležité si vždy uvědomit, jaký předmět budeme skenovat, za jakých podmínek a tomu přizpůsobit volbu vhodného skeneru.

7. Seznam použité literatury

- [1] HRIVNÁK, R. *Reverse Engineering – metody a možnosti využitia : dizertačná práca*. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, Strojnická fakulta, 2008, 116 s.
- [2] KAŠPAR, M., POSPÍŠIL, J., ŠTRONER, M. *Laserové skenovací systémy ve stavebnictví*. 1. vyd. Hradec Králové: Vega s. r. o., 2003. 111 s. ISBN 80-900860-3-9.
- [3] VÁRADY, T., MARTIN, R. R., COX, J. *Reverse Engineering of Geometric Models - An Introduction*. Computer-Aided Design. April 1997, Volume 29, Number 4, p. 255-268. Dostupné z WWW:
<<http://www.ingentaconnect.com/content/els/00104485/1997/00000029/00000004/art00054>>. ISSN 0010-4485.
- [4] NAVRÁTIL, Robert. *Reverse Engineering - trocha teorie* [online]. duben 2002 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/re-teorie/index.html>>.
- [5] NAVRÁTIL, Robert. *Reverse Engineering v praxi* [online]. červen 2000 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://robo.hyperlink.cz/re-praxe/index.html>>.
- [6] Katedra Konštruovania a Častí Strojov, Žilinská univerzita v Žiline. *Teoretický základ a princípy 3D scanovania* [online]. c2006 [cit. 2010-03-29]. Dostupné z WWW: <<http://fstroj.uniza.sk/web/kkcs/>>.
- [7] GOM. *GOM - Measuring Systems - ATOS I* [online]. 2010 [cit. 2010-03-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.i.html>>.
- [8] GOM. *GOM - Measuring Systems - ATOS III* [online]. 2010 [cit. 2010-03-23]. Dostupné z WWW:
<<http://www.gom.com/EN/measuring.systems/atos/system/variations/atos.iii.html>>.
- [9] KOLAVÍK, Jiří. *3D digitalizace prostorových objektů v soudně inženýrské praxi*. [s.l.], 2008. 10 s. Oborová práce. VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav soudního inženýrství. Dostupné z WWW:
<http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/7/Kolavik_Jiri_CL.pdf>.
- [10] Capture 3D. *Quality Control - 3D Measurement* [online]. c2007 [cit. 2010-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.capture3d.com/applications-quality-turbines-3Dmeasure.html>>.
- [11] Capture 3D. *3D Visualisation Of The Ancient Bronze Sculpture Of Apoxyomenos* [online]. c2007 [cit. 2010-04-11]. Dostupné z WWW:
<<http://www.capture3d.com/applications-3Dvisual-art-sculpture.html>>.

- [12] Konica Minolta. *Advantage - Konica Minolta Range5* [online]. c2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://www.konicaminolta.eu/measuring-instruments/products/3d-measurement/non-contact-3d-digitizer/konica-minolta-range5/advantage.html>>.
- [13] ROMER. *Romer Infinite 2.0* [online]. c2010 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <http://www.romer.eu/romer-infinite-20_527.htm>.
- [14] Helmel Engineering Products. *Checkmaster Benchtop CMMs* [online]. c2000 - 2009 [cit. 2010-03-15]. Helmel. Dostupné z WWW: <<http://www.helmel.com/Checkmaster.htm>>.
- [15] GROSOVÁ, S. *Marketing: postupy, principy, metody*. 1. vyd. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2002. Křivka životního cyklu výrobku, s. 66. Dostupné z WWW: <http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-505-6/pdf/066.pdf>.
- [16] Creaform. *About Creaform 3D Engineering Services and 3D Laser Scanners* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.creaform3d.com/en/company/default.aspx>>.
- [17] Creaform. *Handyscan 3D scanners* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.creaform3d.com/en/handyscan3d/products/default.aspx>>.
- [18] FARO. *FARO Distribution - Measuring arms - Start* [online]. c2009 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://measuring-arms.faro.com/distri/start/>>.
- [19] FARO. *FARO International - Products - Laser Scanner* [online]. c2009 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.faro.com/content.aspx?ct=di&content=pro&item=5>>.
- [20] Konica Minolta. *Introduction - VI-910 – Konica minolta* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.konicaminolta.eu/measuring-instruments/products/3d-measurement/non-contact-3d-digitizer/vi-910/introduction.html>>.
- [21] ROMER. *Romer Multi Gage* [online]. c2010 [cit. 2010-04-24]. Dostupné z WWW: <http://www.romer.eu/romer-multi-gage_528.htm>.
- [22] Carl Zeiss. *Welcome to Carl Zeiss Industrial Metrology* [online]. c2009 [cit. 2010-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.zeiss.com/imt>>.
- [23] PRIMA BILAVČÍK s. r. o. *PRIMA BILAVČÍK s.r.o.- prodej, servis a kalibrace měřících přístrojů v oboru délky a úhlu*. [online]. 2002 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.prima-bilavcik.cz/onas.php?lg=CZ>>.

- [24] MCAE Systems. *MCAE Systems* [online]. 2010 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <http://www.mcae.cz/o_nas_CS.html>.
- [25] Capture 3D. *Capture 3D - Optical Scanner, Computer Aided & Turbine Blade Inspection* [online]. c2010 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.capture3d.com/company.html>>.
- [26] 3DSCANCO. *3D Scanners, 3D Scanning Software, Custom 3D Scanning Product Development* [online]. c2007 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.3dscanco.com/products/>>.
- [27] GEODETICCA. *Geodeticca* [online]. c2009 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.geodeticca.sk/index.php?load=polozky&o1=g1477276644180078195>>.
- [28] Perceptron. *Reverse Engineering* [online]. c2010 [cit. 2010-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.perceptron.com/index.php/en/applications/reverse-engineering.html>>.
- [29] NMS. *NMS's homepage* [online]. c2003 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <http://www.nms.sk/?lang=sk&sess_key=LmfWMTS5E0il6a9N&query=services>.
- [30] Katedra výrobních systémů, technická univerzita v Liberci. *KVS - Katedra výrobních systémů* [online]. duben 2008 [cit. 2010-04-27]. Vybavení. Dostupné z WWW: <<http://www.kvs.tul.cz/>>.
- [31] Katedra priemyselného inžinierstva, Žilinská univerzita v Žiline. *Laboratorium 3D projektovania výrobných systémov ND01* [online]. duben 2009 [cit. 2010-04-27]. Dostupné z WWW: <http://fstroj.uniza.sk/web/kpi/laborat_it_files/Page746.htm>.
- [32] MCAE Systems. *ATOS Configuration - MCAE Systems* [online]. 2010 [cit. 2010-04-28]. Dostupné z WWW: <http://www.mcae.cz/ATOS_Configuration_CS.html>.
- [33] Handyscan 3D. *Technické informace - Handyscan 3D* [online]. září 2009 [cit. 2010-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.handyscan.cz/popis/technicke-informace.html>>.
- [34] Konica Minolta. *Specifications - VI-910 - Konica Minolta* [online]. c2010 [cit. 2010-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.konicaminolta.eu/measuring-instruments/products/3d-measurement/non-contact-3d-digitizer/vi-910/specifications.html>>.
- [35] Cyberware. *CySlice Software* [online]. c1999 [cit. 2010-04-28]. Slicing. Dostupné z WWW: <<http://www.cyberware.com/products/software/cyslice.html>>.
- [36] PFEIFER, D. *36NM - 3D laser scanner* [online]. 26.11.2006 [cit. 2010-05-16]. 36NM - 3D laser scanner. Dostupné z WWW: <<http://greenrock.tym.cz/vivid.htm>>.

8. Seznam příloh

Příloha A – výkres součásti, název: Krytovanie_kabelaz.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucí bakalářské práce paní Ing. Lence Čepové, Ph.D. za poskytování cenných informací, také pánu Ing. Jánů Bečkovi, Ph.D. za pomoc při měření a Žilinské univerzitě v Žilině, Strojnické fakultě, Katedře konstruování a částí strojů a zařízení za poskytnutí prostoru a vybavení pro měření.